

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

多孔吸音平板於被動/主動混合型吸音系統應用研究 Applications of Poroelastic Plates in a Hybrid Passive/Active Noise Absorption System

計畫編號：NSC88-2212-E032-002

執行期限：87 年 8 月 1 日至 88 年 7 月 31 日

主持人：蔡慧駿 淡江大學機械工程研究所

一、中文摘要

本計畫旨在推導並應用多孔吸音平板之穿透性音響阻抗，並配合音響阻抗契合法完成被動/主動混合型吸音系統的設計與模擬。研究中著重探討多孔吸音平板厚度、材料性質及孔洞係數等對系統吸音係數提升之影響評估，混合型吸音系統的控制參數亦被深入探討。

關鍵詞：多孔吸音平板、音響阻抗契合法、主/被動式混合型吸音系統

Abstract

In this project, the acoustical impedance of a porous plate is determined. This impedance is then applied to a newly proposed hybrid passive and active control system through an acoustical impedance matching method. The influences of the thickness, porosity, and material properties of a porous plate on the absorption coefficient of such a hybrid system are studied. The control parameters for the hybrid passive and active control system are also examined.

Keyword: porous plate, acoustical impedance matching method, a hybrid passive and active noise absorption system

二、緣由與目的

近年來由於人類對環保意識的增強以及高生活品質的要求，各國莫不積極發展環保相關產業、重視生活環境品質及降低噪音的危害。

目前常被應用的噪音防制技術大致可

區分為主動式(ANC)及被動式(PNC)噪音控制。PNC 技術[1-5]主要使噪音在多孔材料內振盪以阻絕噪音能量進而降低噪音。但PNC 技術所能處理噪音訊號的頻率高低是被吸音材料之厚度所左右[6-7]。所以近年來ANC[8-9]常被應用在消除低頻噪音的場合。為了整合此兩種降噪方式以提升吸音係數並摒除多孔吸音平板厚度及孔洞係數等變化對混合型吸音系統之影響，本計畫建立一混合被動/主動性吸音系統架構，將多孔平板置於一移動平板前端，藉由多孔平板後方平板移動之作用提升吸音係數，達成全面降噪目的。此法藉由多孔吸音平板背面之音響阻抗與後方音室阻抗之相符而達成亦稱為音響阻抗契合法。

三、結果與討論

近年來聚合酯基材料被大量的使用並應用於噪音控制上，所以本研究選擇聚合酯泡棉所製成之多孔材料為分析與測試材料，其性質如表一所示。

3.1 多孔彈性理論

依據 Biot [1] 的假設及彈性力學可推導出多孔彈性材料固體及流體的動態方程組，分別為：

$$\begin{aligned} N \nabla^2 \vec{u} + \nabla [(\lambda + N) \epsilon + Q \epsilon] \\ = \frac{\partial^2}{\partial t^2} (\rho_{11} \vec{u} + \rho_{12} \vec{U}) + b \frac{\partial}{\partial t} (\vec{u} - \vec{U}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \nabla [Q \epsilon + R \epsilon] \\ = \frac{\partial^2}{\partial t^2} (\rho_{12} \vec{u} + \rho_{22} \vec{U}) - b \frac{\partial}{\partial t} (\vec{u} - \vec{U}) \end{aligned}$$

3.2 音響阻抗、反射係數與吸音係數

吸音材料表面之音響阻抗，其定義為在表面之平均聲音壓力（ p_o ）對通過其間之容積速度（ V ）之一複合比例，亦即：

$$Z = p_o / V \quad (N\text{-sec}/m^3)。$$

根據音響學之定義，所謂聲音之反射係數即為入射聲波與反射聲波之振幅比，若假設入射聲波之振幅為（ A_i ）、反射聲波之振幅為（ A_r ），則反射係數（ C_r ）為：

$$C_r = A_r / A_i。$$

吸音材料表面所含之聲音吸收效率係以吸音係數（ A_o ）表示之，其值介於 0~1 之間，定義如下：

$$A_o = 1 - |C_r|^2$$

由上式可知只要推導得吸音材料表面之音響阻抗，即可得到材料表面之吸音係數。因此以下各節將依次探討吸音材料之材料性質，繼而求得材料表面之音響阻抗。

3.3 材料表面之音響阻抗

一般研究對於多孔材料吸音性之探討多以聲音波動傳遞觀念著手，由表面音響阻抗變化推導求得吸音係數。事實上吸振與吸音是一體之兩面，只要減少振幅必能達到吸音之目的。本研究應用振動分析所得之表面音響阻抗有：

1. 表面可穿透

$$Z = \frac{\Delta \beta (C_3 - C_1)}{\int \left[\frac{(1 - \phi(\Delta_1 + \Delta_2 C_1) + \phi(\Delta_3 + \Delta_4 C_1)) \delta_1 \tanh(\delta_1 h)}{(1 - \phi(\Delta_1 + \Delta_2 C_3) + \phi(\Delta_3 + \Delta_4 C_3)) \delta_2 \tanh(\delta_2 h)} \right] \frac{(1 - \phi(Q + RC_3) - \phi(P + QC_3))}{(1 - \phi(Q + RC_1) - \phi(P + QC_1))} + \left[\frac{(1 - \phi(\Delta_1 + \Delta_2 C_3) + \phi(\Delta_3 + \Delta_4 C_3)) \delta_2 \tanh(\delta_2 h)}{(1 - \phi(\Delta_1 + \Delta_2 C_1) + \phi(\Delta_3 + \Delta_4 C_1)) \delta_1 \tanh(\delta_1 h)} \right] \frac{(1 - \phi(Q + RC_3) - \phi(P + QC_3))}{(1 - \phi(Q + RC_1) - \phi(P + QC_1))} \right]}$$

2. 表面不可穿透

$$Z = \frac{\Delta \left[\frac{(P + Q + QC_1 + RC_1)(\Delta_1 + \Delta_2 C_3)(\Delta_3 + \Delta_4 C_3) \delta_2 \tanh(\delta_2 h) - (P + Q + QC_3 + RC_3)(\Delta_1 + \Delta_2 C_1)(\Delta_3 + \Delta_4 C_1) \delta_1 \tanh(\delta_1 h)}{(\Delta_1 + \Delta_2 C_3)(\Delta_3 + \Delta_4 C_3) - (\Delta_1 + \Delta_2 C_1)(\Delta_3 + \Delta_4 C_1)} \right]}{\left[\frac{(\Delta_1 + \Delta_2 C_3)(\Delta_3 + \Delta_4 C_3) - (\Delta_1 + \Delta_2 C_1)(\Delta_3 + \Delta_4 C_1)}{(\Delta_1 + \Delta_2 C_3)(\Delta_3 + \Delta_4 C_3)} \right] \delta_1 \delta_2 \tanh(\delta_1 h) \tanh(\delta_2 h)}$$

3.4 被動/主動混合型吸音系統

本研究模擬之被動/主動混合型吸音

系統如圖一所示。

本系統將多孔吸音平板置於移動平板之前端，再控制移動平板，藉由多孔吸音平板背面之音響阻抗與後方空氣空室相符達成提昇吸音係數目的。控制架構中，將一組誤差麥克風置於後方空氣空室，利用聲波分離電路（Wave deconvolution circuit）將入射波及反射波加以分離，再將反射波視為誤差訊號送入頻域濾波-X 最小二方平均法（FILTER-X LMS）控制器，藉由與多孔平板前方之參考訊號比較後將控制訊號送入移動平板（反噪音源）而清除反射波。

3.5 理論與實驗結果比較

研究中之具體成果分述如下：

本研究已建立多孔材料彈性係數與吸音係數之轉換模式，所模擬之吸音趨勢與實驗數據比較亦相當接近（如圖二、三），不需再由阻抗管量測得知。若比較吸音平板表面條件可發現表面具可穿透性者整體頻域吸音係數皆在表面不可穿透者之上，尤其在高頻部分更為明顯，如圖四所示。

在多孔材料係數影響方面，當吸音材料厚度增加時其臨界頻率可有效降低，但是其有效吸音頻域較窄。厚度較薄之材料雖然臨界頻率較高但是其有效吸音頻域較廣，如圖五所示。因此改變材料厚度為提昇吸音效果最直接之方法。其次材料孔洞係數提高時會使臨界頻率向低頻移動且吸音係數亦相對提昇，惟材料多孔性有一定範圍，對提昇吸音係數效果並不顯著，如圖六所示。若增加材料固體剪應力模數時臨界頻率會往高頻移動且整體吸音係數會降低；而在低頻部分當剪應力模數較低時其吸音係數較高；其中提昇耗損效應比例對於臨界頻率並無影響，惟會稍微降低吸音係數；但在高頻部分則相反，如圖七所示。由以上分析得知欲提昇材料吸音效果，針對改變材料厚度、剪力模數及表面穿透性等係數最具成效。應用以上所建立之轉換模式配合 ANC 技術其結果如圖八所示。整體控制系統已改善 PNC 之低頻吸音效率不佳之缺陷，但由於控制器運算時間的影響，其高頻噪音消除的成效有些微下降之趨勢。

四、計畫成果自評

1. 建立多孔吸音平板之穿透式音響阻抗分析模式
2. 完成多孔吸音平板音響阻抗分析研討並與國外實驗成果比較相符。
3. 建立被動/主動混合型吸音系統控制架構之吸音系統模擬。
4. 發現改變吸音平板厚度及固體剪力模數並使表面為可穿透性對吸音係數提昇最具成效。

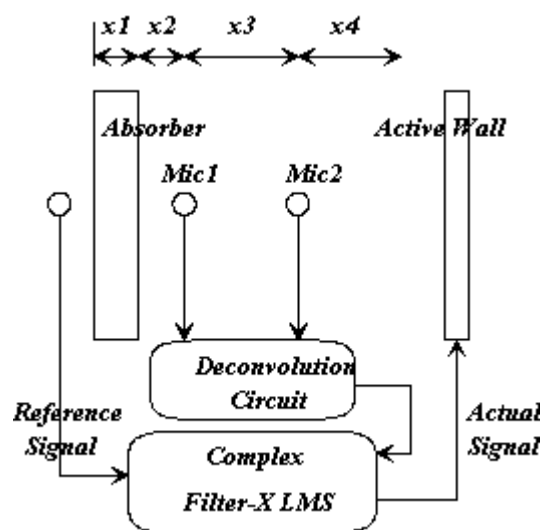
五、參考文獻

- [1] M. A. Biot, "General Theory of Three Dimensional Consolidation," *J. Appl. Phys.*, **12**, pp.155-164, 1941.
- [2] J. F. Allard and C. Depollier, "Measurement and Prediction of Surface Impedance at Oblique Incidence of a Plastic Foam of High Flow Resistivity," *J. of Sound and Vibration*, **132**(1), pp.51-60, 1989.
- [3] H.-S. Tsay and H. B. Kingsbury, "Influence of Inertia and Dissipative Forces on the Dynamic Response of Poroelastic Materials," *Int. J. Solids Structure*, **29**(5), pp.641-652, 1992.
- [4] F.-H. Yeh and H.-S. Tsay, "Dynamic Behavior of Poroelastic Slab Subjected to Uniformly Distributed Impulsive Loading", *An Int. J. of Computers and Structures*, **67**, pp.267-277, 1998.
- [5] 蔡慧錫、葉豐輝, "多孔彈性平板之動態反應," 中國力學學會第十七屆力學會議, pp.1005-1012, Dec. 10-11, 1993.
- [6] C. Zwikker, C. W. Kosten, *Sound Absorbing Materials*, Elsevier, 1949.
- [7] L. E. Kinsler, A. R. Frey, A. B. Coppens, and J. V. Sanders, *Fundamentals of Acoustics* (3rd), John Wiley & Sons, 1982.
- [8] C. R. Fuller, A. H. V. Flotow, , "Active Control of Sound and Vibration," *IEEE Control System Magazine*, **2**, pp.9-19, 1995.

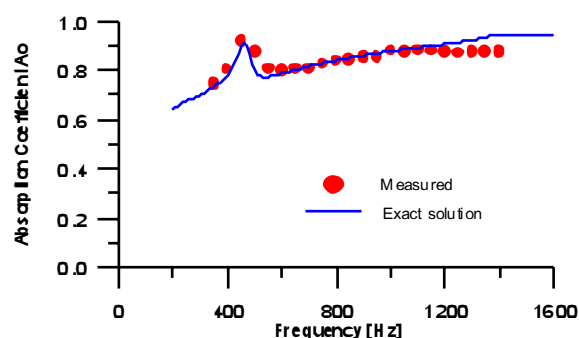
- [9] D. Thenail, M. Galland, and M. Sunhach, "Active Enhancement of the Absorbent Properties of a Porous Material," *Smart Mater. Struct.*, **3**, pp.18-25, 1994.

表一：材料係數表

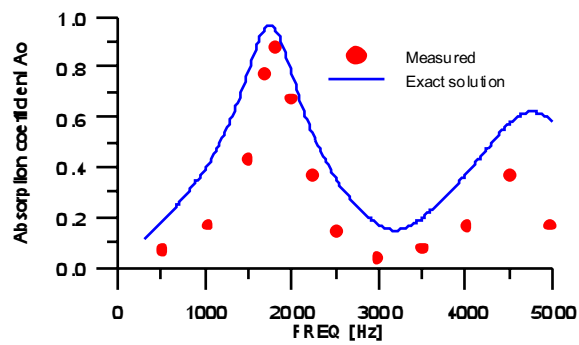
材料係數	材料 1	材料 2
結構因子	1.06	1.10
材料密度[kg/m ³]	130	30
流阻係數[N*s/m ⁴]	40000	5500
孔洞係數	0.94	0.97
剪力模數[N/m ²]	220(1+0.1i)	9(1+0.2i)
埔松比	0.0	0.35
材料厚度[cm]	10	1.8



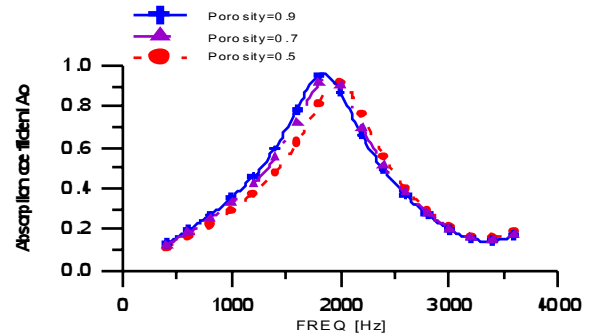
圖一：被動/主動混合型吸音系統控制架構



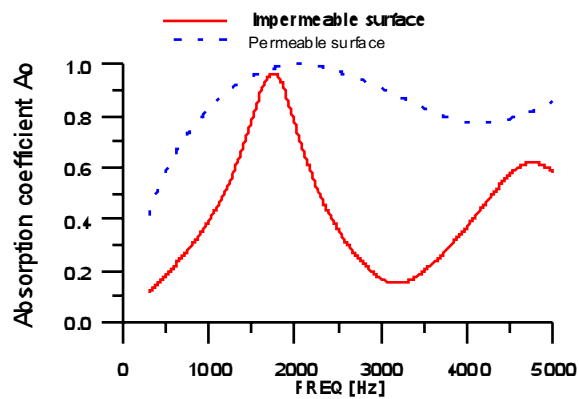
圖二：吸音係數理論模擬與實驗值比較
[材料 1，單層，表面可穿透]



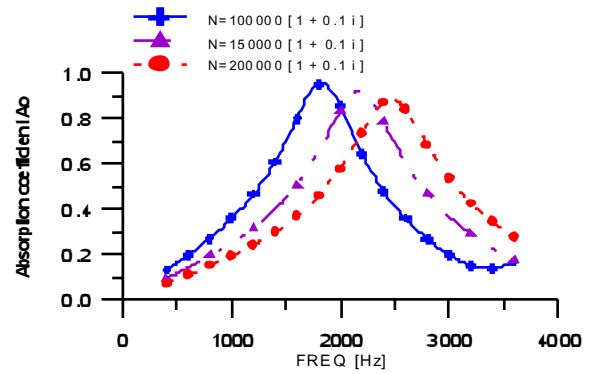
圖三：吸音係數理論模擬與實驗值比較
[材料2，單層，表面不可穿透]



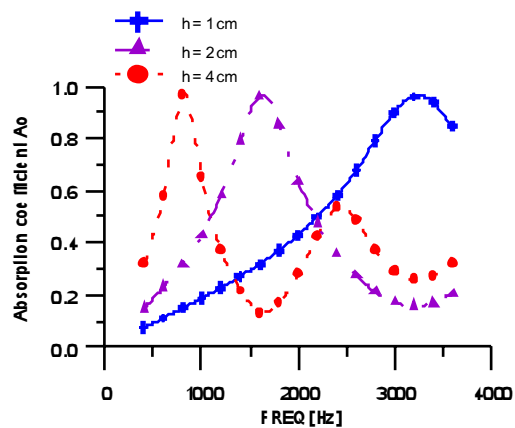
圖六 孔洞係數對吸音係數之影響



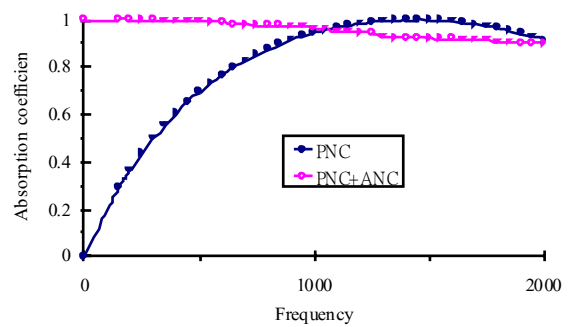
圖四：吸音平板表面可穿透與不可穿透之吸音係數比較



圖七：固體剪力模數對吸音係數之影響



圖五：厚度對吸音係數之影響



圖八：被動/主動混合型吸音係數結果比較